

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

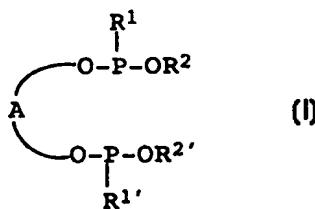
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : B01J 31/18, C07C 253/10, C07F 9/48		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/64155 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 16. Dezember 1999 (16.12.99)
(21) Internationales Aktenzeichen:	PCT/EP99/03888		(81) Bestimmungsstaaten: AE, BR, CA, CN, CZ, ID, IN, JP, KR, MX, RU, SG, TR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum:	4. Juni 1999 (04.06.99)		
(30) Prioritätsdaten:	198 25 212.9	5. Juni 1998 (05.06.98)	DE Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>):	BASF AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; D-67056 Ludwigshafen (DE).		
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>):	FISCHER, Jakob [DE/DE]; Blumenstrasse 19, D-85414 Kirchdorf (DE). SIEGEL, Wolfgang [DE/DE]; Goethestrasse 34b, D-67117 Limburgerhof (DE). KEITEL, Dagmar, Pascale [DE/DE]; Neuhofener Strasse 1, D-67117 Limburgerhof (DE). SIGGEL, Lorenz [US/DE]; Max-Reger-Strasse 30, D-69121 Heidelberg (DE).		
(74) Anwälte:	KINZEBACH, W. usw.; Ludwigsplatz 4, D-67059 Ludwigshafen (DE).		

(54) Title: CATALYST COMPRISING A COMPLEX OF A METAL FROM SUBGROUP VIII BASED ON A BIDENTATE PHOSPHONITE LIGAND, AND METHOD FOR PRODUCING NITRILES

(54) Bezeichnung: KATALYSATOR, UMFASSEND EINEN KOMPLEX EINES METALLS DER VIII. NEBENGRUPPE AUF BASIS EINES ZWEIZÄHNIGEN PHOSPHONITLIGANDEN UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON NITRILEN

**(57) Abstract**

The invention relates to a catalyst comprising at least one complex of a metal from subgroup VIII with at least one bidentate phosphonite ligand of general formula (I) or salts or mixtures therof, to a method for producing mixtures of monoolefinic C₅-mononitriles, to a method for the catalysed isomerization of branched aliphatic monoalkene nitriles and to a method for producing adipodinitrile.

(57) Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Katalysator, der wenigstens einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe mit mindestens einem zweizähnigen Phosphonitliganden der allgemeinen Formel (I) oder Salze und Mischungen davon umfasst, ein Verfahren zur Herstellung von Gemischen monoolefinischer C₅-Mononitrile, ein Verfahren zur katalytischen Isomerisierung verzweigter aliphatischer Monoalkennitrile und ein Verfahren zur Herstellung von Adipodinitril.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benim	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Katalysator, umfassend einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe auf Basis eines zweizähnigen Phosphonitliganden und Verfahren zur Herstellung von Nitrilen

5

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Katalysator, der einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe umfasst, welcher mindestens einen zweizähnigen Phosphonitliganden umfasst, ein Verfahren zur Herstellung von Gemischen monoolefinischer C₅-Mononitrile und ein Verfahren zur Herstellung von Adipodinitril durch katalytische Hydrocyanierung in Gegenwart eines solchen Katalysators.

15

Zur großtechnischen Herstellung von Polyamiden besteht weltweit ein großer Bedarf an α,ω-Alkylendiaminen, welche dabei als ein wichtiges Ausgangsprodukt dienen. α,ω-Alkylendiamine, wie z. B. das Hexamethylendiamin, werden fast ausschließlich durch Hydrierung der entsprechenden Dinitrile gewonnen. Fast alle großtechnischen Wege zur Herstellung von Hexamethylendiamin sind daher im wesentlichen Varianten der Herstellung des Adipodinitrils, von dem jährlich weltweit etwa 1,0 Mio. Tonnen produziert werden.

25 In K. Weissermel, H.-J. Arpe, Industrielle Organische Chemie, 4. Auflage, VCH Weinheim, S. 266 ff. sind vier prinzipiell unterschiedliche Routen zur Herstellung von Adipinsäuredinitril beschrieben, u. a. die direkte Hydrocyanierung von 1,3-Butadien mit Cyanwasserstoff. Nach dem letztgenannten Verfahren erhält man in 30 einer ersten Stufe durch Monoaddition ein Gemisch isomerer Pentennitrile, das in einer zweiten Stufe zu vorwiegend 3- und 4-Pentennitril isomerisiert wird. Anschließend wird in einer dritten Stufe durch anti-Markownikow-Cyanwasserstoffaddition an 4-Pentennitril das Adipinsäuredinitril gebildet.

35

In "Applied Homogeneous Catalysis with Organometallic Compounds", Bd. 1, VCH Weinheim, S. 465 ff. wird allgemein die heterogen und homogen katalysierte Addition von Cyanwasserstoff an Olefine beschrieben. Dabei werden vor allem Katalysatoren auf Basis von 40 Phosphin-, Phosphit- und Phosphinit-Komplexen des Nickels und Palladiums verwendet. Zur Herstellung von Adipinsäuredinitril durch Hydrocyanierung von Butadien werden vorwiegend Nickel(0)-Phosphitkatalysatoren, ggf. in Gegenwart einer Lewis-Säure als Promotor verwendet.

45

In J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1991, S. 1292, werden chirale Aryldiphosphite als Liganden für Hydrocyanierungskatalysatoren beschrieben. Bei diesen Liganden ist die Phosphitgruppe über zwei ihrer Sauerstoffatome an die 3- und 3'-Positionen einer 2,2'-Binaphthyleinheit gebunden, mit der sie so einen 7-gliedrigen Heterocyclus bildet. Zusätzlich können zwei dieser Heterocyclen ebenfalls über eine 2,2'-Binaphthyleinheit zu einem zweizähnigen Chelatliganden verknüpft sein. In J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1991, S. 803 f., werden dazu analoge Chelatdiphosphit-Komplexe von Nickel(0) und Platin(0) beschrieben, wobei als verbrückende Gruppe anstelle einer 2,2'-Binaphthyleinheit eine 2,2'-Biphenyleinheit eingesetzt wird.

Die US-A-5,449,807 beschreibt ein Verfahren zur Gasphasenhydrocyanierung von Diolefinen in Gegenwart eines geträgerten Nickelkatalysators auf Basis wenigstens eines zweizähnigen Phosphitliganden, wobei die beiden Phosphitgruppen durch eine unsubstituierte oder substituierte 2,2'-Biphenylgruppe verbrückt sind. Die US-A-5,440,067 beschreibt ein Verfahren zur Gasphasenisomerierung von 2-Alkyl-3-monoalkenkennitrilen zu linearen 3- und/oder 4-Monoalkenkennitrilen in Gegenwart der in der US-A-5,449,807 beschriebenen Katalysatoren.

Die WO 95/14659 beschreibt ein Verfahren zur Hydrocyanierung von Monoolefinen, wobei Katalysatoren auf Basis von nullwertigem Nickel und zweizähnigen Phosphitliganden eingesetzt werden. Bei diesen Liganden sind die Phosphitgruppen zusammen mit zwei ihrer Sauerstoffatome Teil eines Aryl-anellierten 7-gliedrigen Heterocyclus. Je zwei dieser Phosphitgruppen sind dann über die Sauerstoffatome, die nicht Teil des Heterocyclus sind, durch Aryl-anellierte Alkylengruppen verbrückt.

Die US-A-5,512,695 beschreibt ebenfalls ein Verfahren zur Hydrocyanierung von Monoolefinen in Gegenwart eines Nickelkatalysators, der einen zweizähnigen Phosphitliganden umfasst.

Die WO 96/11182 beschreibt ein Verfahren zur Hydrocyanierung in Gegenwart eines Nickelkatalysators auf Basis eines zwei- oder mehrzähnigen Phosphitliganden, bei dem die Phosphitgruppen nicht Bestandteil eines Heterocyclus sind. Die zur Verbrückung der Phosphitgruppen eingesetzten Gruppen entsprechen den in der WO 95/14659 beschriebenen.

Die US-A-5,523,453 beschreibt ein Verfahren zur Hydrocyanierung in Gegenwart eines Nickelkatalysators auf Basis eines zweizähnigen Liganden, der mindestens eine Phosphinitgruppe und eine weitere phosphorhaltige Gruppe, die ausgewählt ist unter Phosphini-

ten und Phosphiten, umfasst. Die beiden phosphorhaltigen Gruppen dieser zweizähnigen Liganden sind wiederum über Aryl-anellierte Gruppen verbrückt. Die WO 97/23446 beschreibt ein Verfahren zur Hydrocyanierung von Diolefinen sowie zur Isomerisierung von 2-Alkyl-3-monoalkennitrilen in Gegenwart von Katalysatoren, die den in der US-A-5,523,453 beschriebenen entsprechen.

Die WO 96/22968 beschreibt ebenfalls ein Verfahren zur Hydrocyanierung diolefinischer Verbindungen und zur Isomerisierung der resultierenden, nichtkonjugierten 2-Alkyl-3-monoalkennitrile, wobei ein Nickel(0)-Katalysator auf Basis eines mehrzähnigen Phosphitliganden in Gegenwart einer Lewis-Säure als Promotor eingesetzt wird. Die Phosphitgruppen dieser mehrzähnigen Liganden sind dabei wiederum Bestandteile von Aryl-anellierten Heterocyclen und gegebenenfalls über Aryl-anellierte Gruppen verbrückt.

Keine der zuvor genannten Literaturstellen beschreibt Hydrocyanierungskatalysatoren auf Basis von Phosphonitliganden. Insbesondere werden keine Katalysatoren auf Basis von zweizähnigen Chelatphosphoniten beschrieben.

Die US-A 3,766,237 beschreibt ein Verfahren zur Hydrocyanierung ethylenisch ungesättigter Verbindungen, welche weitere funktionelle Gruppen, wie z. B. Nitrile, aufweisen können, in Gegenwart eines Nickelkatalysators. Diese Nickelkatalysatoren tragen vier Liganden der allgemeinen Formel M(X,Y,Z), wobei X, Y und Z unabhängig voneinander für einen Rest R oder OR stehen und R ausgewählt ist unter Alkyl- und Arylgruppen mit bis zu 18 Kohlenstoffatomen. Dabei werden jedoch nur Phosphine und Phosphite explizit genannt und in den Beispielen für die Hydrocyanierung eingesetzt. Dagegen ist nicht offenbart, daß Phosphonite als Liganden für Nickel(0)-Hydrocyanierungskatalysatoren eingesetzt werden können. Insbesondere werden keine zweizähnigen Chelatphosphonitliganden beschrieben.

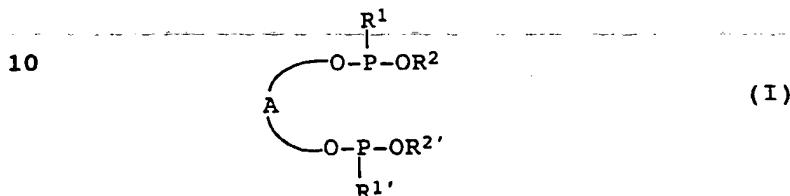
35

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, neue Katalysatoren auf Basis eines Metalls der VIII. Nebengruppe zur Verfügung zu stellen. Diese sollen vorzugsweise bei der Hydrocyanierung von 1,3-Butadien und 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen eine gute Selektivität und eine gute katalytische Aktivität aufweisen. Bevorzugt sollen sie sich auch zur katalytischen Isomerisierung von Monoalkennitrilen und zur Zweitaddition von Cyanwasserstoff an diese, z. B. zur Herstellung von Adipodinitril, eignen.

45

Überraschenderweise wurden nun Katalysatoren auf Basis eines Metalls der VIII. Nebengruppe gefunden, welche mindestens einen zweizähnigen Phosphonitliganden umfassen.

5 Gegenstand der Erfindung ist daher ein Katalysator, umfassend einen Komplex eines Metalls der VIII. Nebengruppe, mit einem zweizähnigen Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I



15

worin

A für eine C₂- bis C₇-Alkylenbrücke steht, die 1, 2 oder 3 Doppelbindungen und/oder 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl und Aryl, aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent zusätzlich 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano, tragen kann,
 20 und/oder die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke durch 1, 2 oder 3 nicht benachbarte, gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen sein kann, und/oder die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke einzwei- oder dreifach mit Aryl und/oder Hetaryl anelliert sein kann, wobei die anellierten Aryl- und Hetarylgruppen je 1, 2
 25 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Alkoxycarbonyl oder NE¹E², tragen können, wobei E¹ und E² gleich oder verschieden
 30 sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen,

35

R¹ und R^{1'} unabhängig voneinander für Alkyl, Cycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, welche je 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl und Aryl, tragen können,

40 R² und R^{2'} unabhängig voneinander für Alkyl, Cycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, wobei die Aryl- und Hetarylgruppen je 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Alkoxycarbonyl oder
 45 NE¹E², tragen können, wobei E¹ und E² die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen können,

oder Salze und Mischungen davon.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Ausdruck 'Alkyl' geradkettige und verzweigte Alkylgruppen. Vorzugsweise handelt es sich dabei um geradkettige oder verzweigte C₁-C₈-Alkyl-, bevorzugter C₁-C₆-Alkyl- und besonders bevorzugt C₁-C₄-Alkylgruppen. Beispiele für Alkylgruppen sind insbesondere Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, n-Butyl, 2-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, 2-Pentyl, 2-Methylbutyl, 3-Methylbutyl, 1,2-Dimethylpropyl,
10 1,1-Dimethylpropyl, 2,2-Dimethylpropyl, 1-Ethylpropyl, n-Hexyl, 2-Hexyl, 2-Methylpentyl, 3-Methylpentyl, 4-Methylpentyl, 1,2-Dimethylbutyl, 1,3-Dimethylbutyl, 2,3-Dimethylbutyl, 1,1-Dimethylbutyl, 2,2-Dimethylbutyl, 3,3-Dimethylbutyl, 1,1,2-Trimethylpropyl, 1,2,2-Trimethylpropyl, 1-Ethylbutyl, 2-Ethylbutyl, 1-Ethyl-
15 2-methylpropyl, n-Heptyl, 2-Heptyl, 3-Heptyl, 2-Ethylpentyl, 1-Propylbutyl, Octyl.

Bei der Cycloalkylgruppe handelt es sich vorzugsweise um eine C₅-C₇-Cycloalkylgruppe, wie Cyclopentyl, Cyclohexyl oder Cyclo-
20 heptyl.

Wenn die Cycloalkylgruppe substituiert ist, weist sie vorzugsweise 1, 2, 3, 4 oder 5, insbesondere 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Halogen oder Trifluormethyl, auf.
25 Aryl steht vorzugsweise für Phenyl, Tollyl, Xylyl, Mesityl, Naphthyl, Anthracenyl, Phenanthrenyl, Naphthacenyl und insbesondere für Phenyl oder Naphthyl. Wenn die Arylgruppe substituiert ist, so weist sie bevorzugt 1, 2, 3, 4 oder 5, besonders bevorzugt 1,
30 2 oder 3 und speziell 1 oder 2 Substituenten in beliebigen Positionen auf.

Hetaryl steht vorzugsweise für Pyridyl, Chinolinyl, Acridinyl, Pyridazinyl, Pyrimidinyl oder Pyrazinyl.
35 Substituierte Hetarylreste weisen vorzugsweise 1, 2 oder 3 Substituenten, ausgewählt unter Alkyl, Alkoxy, Halogen oder Trifluormethyl auf.
40 Die obigen Ausführungen zu Alkyl-, Cycloalkyl- und Arylresten gelten entsprechend für Alkoxy-, Cycloalkyloxy- und Aryloxyreste.

Die Reste NE¹E² stehen vorzugsweise für N,N-Dimethyl, N,N-Diethyl, N,N-Dipropyl, N,N-Diisopropyl, N,N-Di-n-butyl, N,N-Di-tert.-butyl, N,N-Dicyclohexyl oder N,N-Diphenyl.
45

Halogens steht für Fluor, Chlor, Brom und Iod, bevorzugt für Fluor und Chlor.

Bei den Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I sind die Reste R¹ und R² bzw. R^{1'} und R^{2'} nicht miteinander verbrückt.

Der Rest A steht vorzugsweise für eine C₂- bis C₇-Alkylenbrücke, die 1-, 2- oder 3fach mit Aryl anelliert ist und die zusätzlich einen Substituenten, der ausgewählt ist unter Alkyl, Cycloalkyl und gegebenenfalls substituiertem Aryl, aufweisen kann und/oder die zusätzlich durch ein gegebenenfalls substituiertes Heteroatom unterbrochen sein kann.

Bei den anellierten Arylen der Reste A handelt es sich bevorzugt um Benzol oder Naphthalin. Anellierte Benzolringe sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 Substituenten auf, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Carboxyl, Alkoxycarbonyl und Cyano. Anellierte Naphthaline sind vorzugsweise unsubstituiert oder weisen im nicht anellierten Ring und/oder im anellierten Ring jeweils 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 der zuvor bei den anellierten Benzolringen genannten Substituenten auf. Anellierte Naphthaline, die im anellierten Ring substituiert sind, weisen vorzugsweise einen Substituenten in ortho-Position zur Phosphonitgruppe auf. Dieser steht dann bevorzugt für Alkyl oder Alkoxy carbonyl. Bei den Substituenten der anellierten Aryle steht Alkyl vorzugsweise für C₁- bis C₄-Alkyl und insbesondere für Methyl, Isopropyl und tert.-Butyl. Alkoxy steht dabei vorzugsweise für C₁- bis C₄-Alkoxy und insbesondere für Methoxy. Alkoxycarbonyl steht vorzugsweise für C₁- bis C₄-Alkoxycarbonyl. Halogen steht dabei insbesondere für Fluor und Chlor.

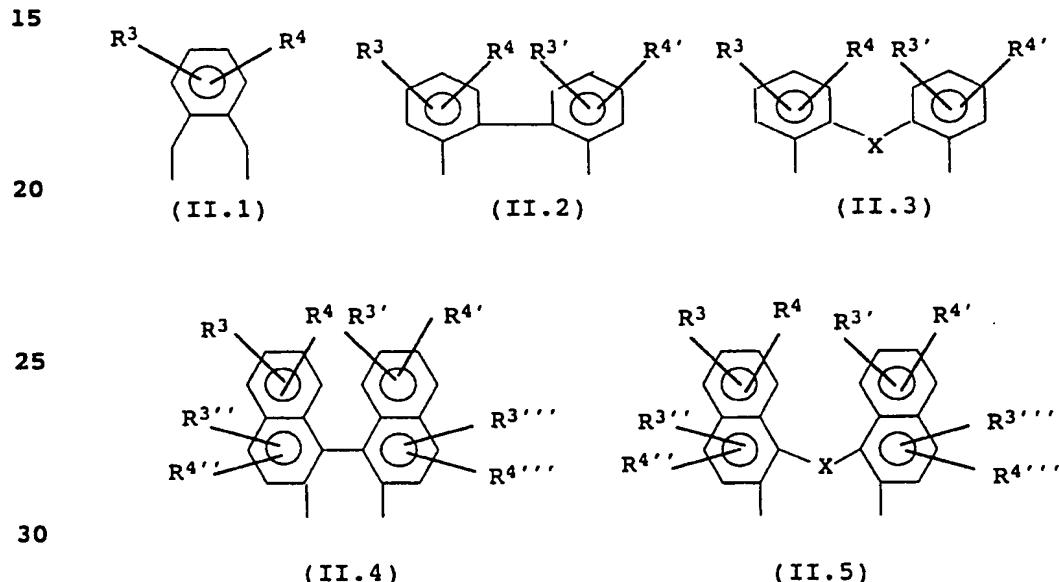
Wenn die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke des Restes A durch 1, 2 oder 3, gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen ist, so sind diese ausgewählt unter O, S oder NR⁵, wobei R⁵ für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl steht. Vorzugsweise ist die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke des Restes A durch ein gegebenenfalls substituiertes Heteroatom unterbrochen.

Wenn die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke des Restes A substituiert ist, so weist sie 1, 2 oder 3, insbesondere 1 Substituenten auf, der die ausgewählt ist/sind unter Alkyl, Cycloalkyl und Aryl, wobei der Arylsubstituent zusätzlich 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl und Cyano, tragen kann. Vorzugsweise weist die Alkylenbrücke A einen Substituenten auf, der ausgewählt ist unter Methyl, Ethyl, Isopropyl, Phenyl, p-(C₁- bis C₄-Alkyl)phe-

nyl, bevorzugt p-Methylphenyl, p-(C₁- bis C₄-Alkoxy)phenyl, bevorzugt p-Methoxyphenyl, p-Halogenphenyl, bevorzugt p-Chlorphenyl und p-Trifluormethylphenyl.

5 Vorzugsweise steht der Rest A für eine C₄- bis C₇-Alkylenbrücke, die wie zuvor beschrieben anelliert und/oder substituiert und/ oder durch gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen ist. Insbesondere steht der Rest A für eine C₄- bis C₅-Alkylenbrücke, die ein- oder zweifach mit Phenyl und/oder Naphthyl anelliert ist, wobei die Phenyl- oder Naphthylgruppen 1, 2 oder 3, insbesondere 1 oder 2 der zuvor genannten Substituenten tragen können.

Insbesondere steht A für einen Rest der Formeln II.1 bis II.5



worin

- 35 X für O, S, NR⁵ steht, wobei
R⁵ für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl steht,
oder X für eine C₁- bis C₃-Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl- oder Arylsubstituenten aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent 1, 2 oder 3 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano, tragen kann,
45 oder X für eine C₂- bis C₃-Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR⁵ unterbrochen ist,

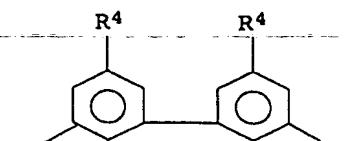
8

R^3 , $R^{3''}$, $R^{3'''}$, R^4 , $R^{4'}$, $R^{4''}$ und $R^{4'''}$ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxy carbonyl oder Cyano stehen.

5 Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.1, worin R^3 und R^4 für Wasserstoff stehen.

Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.2a

10



15

(II.2a)

worin

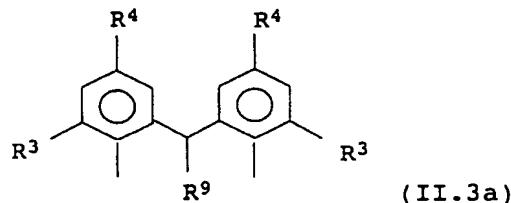
20 R^3 für Wasserstoff oder C₁- bis C₄-Alkyl, bevorzugt Methyl, Isopropyl oder tert.-Butyl, steht,

25 R^4 für Wasserstoff, C₁- bis C₄-Alkyl, bevorzugt Methyl, Isopropyl oder tert.-Butyl, C₁- bis C₄-Alkoxy, bevorzugt Methoxy, Fluor, Chlor oder Trifluormethyl, steht.

25

Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.3a

30



35 worin

R^3 und R^4 die zuvor bei der Formel II.2a angegebenen Bedeutungen besitzen,

40 R^9 für Wasserstoff, C₁- bis C₄-Alkyl, bevorzugt Methyl oder Ethyl, Phenyl, p-(C₁- bis C₄-Alkoxy)phenyl, bevorzugt p-Methoxyphenyl, p-Fluorphenyl, p-Chlorphenyl oder p-(Trifluormethyl)phenyl steht.

45 Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.4, worin R^3 , $R^{3''}$, $R^{3'''}$, R^4 , $R^{4'}$, $R^{4''}$ und $R^{4'''}$ für Wasserstoff stehen.

Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.4, worin R³, R^{3''}, R⁴, R^{4'}, R^{4''} und R^{4'''} für Wasserstoff stehen und die Reste R^{3''} und R^{3'''} unabhängig voneinander für Alkoxy carbonyl, bevorzugt Methoxy-, Ethoxy-, n-Propyloxy- oder Isopropyloxycarbonyl, stehen. Insbesondere stehen die Reste R^{3''} und R^{3'''} in ortho-Position zur Phosphonitgruppe.

Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.5, worin R³, R^{3''}, R^{3'''}, R⁴, R^{4'}, R^{4''} und R^{4'''} für Wasserstoff stehen und X für CR⁹ steht, wobei R⁹ die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzt.

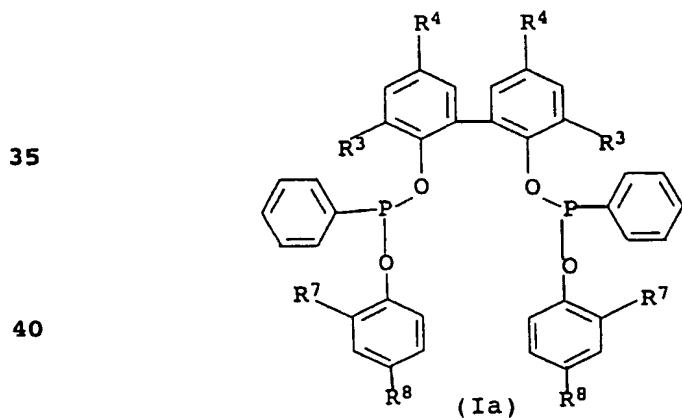
Vorzugsweise steht A für einen Rest der Formel II.5, worin R³, R^{3'}, R⁴, R^{4''} und R^{4'''} für Wasserstoff stehen, X für CR⁹ steht und die Reste R^{3''} und R^{3'''} unabhängig voneinander für Alkoxy carbonyl, bevorzugt Methoxy-, Ethoxy-, n-Propyloxy- oder Isopropyloxycarbonyl, stehen. Insbesondere stehen die Reste R^{3''} und R^{3'''} in ortho-Position zur Phosphonitgruppe.

Vorzugsweise stehen in der Formel I die Reste R¹ und R^{1'} unabhängig voneinander für Alkyl oder Aryl, insbesondere Phenyl, 1-Naphthyl oder 2-Naphthyl.

Vorzugsweise stehen R² und R^{2'} unabhängig voneinander für Phenyl substituenten, die gegebenenfalls 1 oder 2 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Alkoxy carbonyl oder Carboxyl, tragen können.

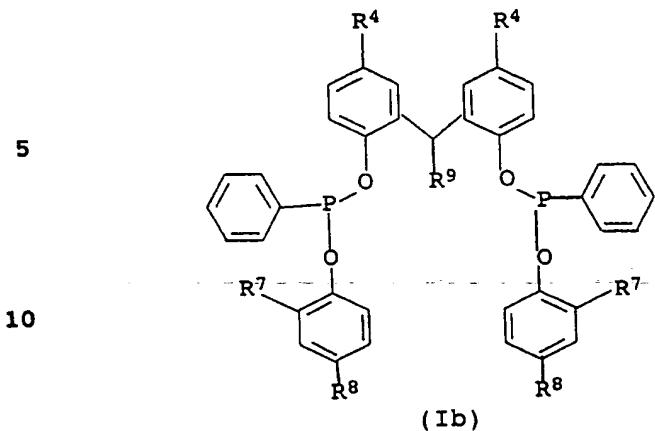
Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist der Phosphonitligand der Formel I ausgewählt unter Liganden der Formeln Ia bis Ic

30

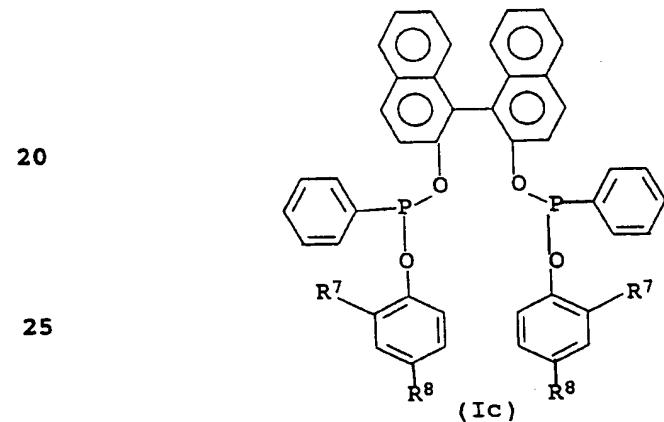


45

10



15



wobei in der Formel Ia die Substituenten R³, R⁴, R⁷ und R⁸ die folgenden Bedeutungen besitzen:

	R ³	R ⁴	R ⁷	R ⁸
	H	H	H	H
	tert.-Butyl	Methyl	H	H
	tert.-Butyl	Methoxy	H	H
35	H	H	Methyl	H
	H	H	Ethyl	H
	H	H	Isopropyl	H
	H	H	tert.-Butyl	H
40	H	Cl	H	H
	H	CF ₃	H	H
	H	H	Methyl	Methoxy

45

11

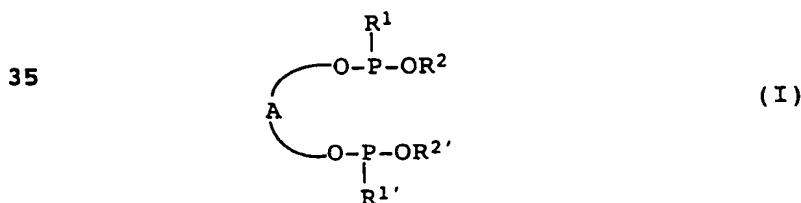
in der Formel Ib die Substituenten R⁴, R⁷, R⁸ und R⁹ die folgenden Bedeutungen besitzen:

	R ⁴	R ⁷	R ⁸	R ⁹
5	H	H	H	H
	Cl	H	H	H
	Methoxy	H	H	H
	H	H	H	Phenyl
10	H	Methyl	H	H
	H	Methyl	Methoxy	H
	H	Methyl	Methoxy	Phenyl

in der Formel Ic die Substituenten R⁷ und R⁸ die folgenden Bedeutungen besitzen:

	R ⁷	R ⁸
20	H	H
	Methyl	H
	Ethyl	H
	Isopropyl	H
25	tert.Butyl	H
	Methyl	Methoxy
	i-Propyl	H
	i-Propyl	Methoxy
30	H	Cl
	H	CF ₃

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung sind Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I



40

wie zuvor definiert, worin

R² und R^{2'} unabhängig voneinander für Alkyl, Cycloalkyl, Aryl oder
45 Hetaryl stehen, wobei die Aryl- und Hetarylgruppen je 1 oder 2 Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluor-

12

methyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Alkoxy carbonyl oder NE^1E^2 , tragen können, wobei E^1 und E^2 gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen.

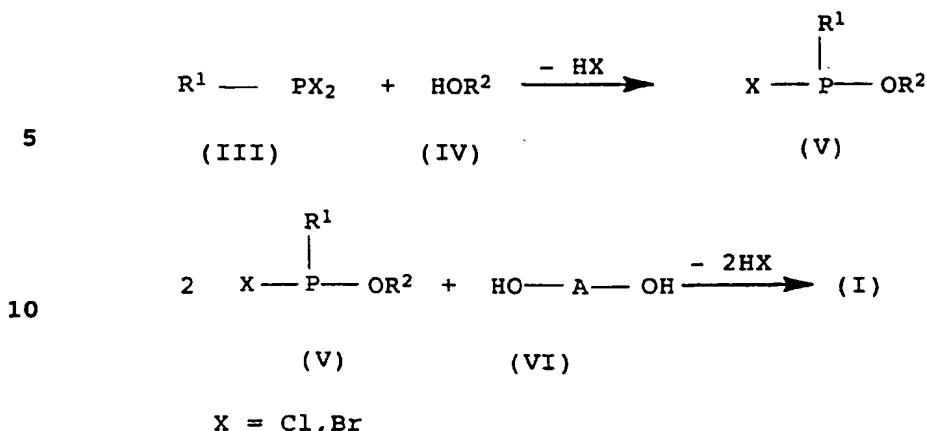
5 Bevorzugt stehen R^2 und R^2' unabhängig voneinander für Phenylgruppen, die 1 oder 2 der zuvor genannten Substituenten tragen können.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren können einen oder mehrere der 10 Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I aufweisen. Zusätzlich zu den zuvor beschriebenen Liganden der allgemeinen Formel I können sie noch wenigstens einen weiteren Liganden, der ausgewählt ist unter Cyanid, Halogeniden, Aminen, Carboxylaten, Acetylaceton, Aryl- oder Alkylsulfonaten, Hydrid, CO, Olefinen, Dienen, 15 Cycloolefinen, Nitrilen, N-haltigen Heterocyclen, Aromaten und Heteroaromaten, Ethern, PF_3 sowie ein-, zwei- und mehrzähnigen Phosphin-, Phosphinit-, Phosphonit- und Phosphitliganden aufweisen. Diese weiteren Liganden können ebenfalls ein-, zwei- oder mehrzähnig sein und an das Metall der VIII. Nebengruppe koordinieren. Geeignete weitere phosphorhaltige Liganden sind z. B. die zuvor als Stand der Technik beschriebenen Phosphin-, Phosphinit- und Phosphitliganden.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Metall der VIII. Nebengruppe um 25 Cobalt, Rhodium, Ruthenium, Palladium oder Nickel. Werden die erfindungsgemäßen Katalysatoren zur Hydrocyanierung eingesetzt, so handelt es sich bei dem Metall der VIII. Nebengruppe insbesondere um Nickel.

30 Zur Herstellung der in den erfindungsgemäßen Katalysatoren eingesetzten Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I kann man gemäß dem folgenden Schema zunächst eine Dihalogenphosphor(III)verbindung III, worin R^1 (bzw. R^1') die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzt, mit einem Monoalkohol IV, worin R^2 (bzw. R^2') die zuvor 35 angegebenen Bedeutungen besitzt, zu einer Verbindung der Formel V umsetzen. Gewünschtenfalls kann diese Verbindung V vor der weiteren Umsetzung nach bekannten Verfahren isoliert und/oder gereinigt werden, z. B. durch Destillation. Die Verbindung V wird dann mit einem Diol der Formel VI zu den zweizähnigen Phosphonitliganden der Formel (I) umgesetzt. Für den Fall, dass in der Formel (I) $R^1 = R^1'$ und $R^2 = R^2'$ ist, können zwei Äquivalente der Formel V in einer einstufigen Reaktion mit einem Äquivalent der Formel VI umgesetzt werden. Ansonsten wird zunächst ein Äquivalent der Formel V mit einem Äquivalent der Formel VI umgesetzt und nach Bildung des Monokondensationsproduktes wird eine zweite Verbindung der Formel (V) $Cl-PR^1'-OR^2'$ zugegeben und weiter zu dem Phosphonit der Formel (I) umgesetzt.

13



15

Bei der Verbindung der Formel (III) handelt es sich bevorzugt um eine Dichlorphosphor(III)-verbindung. Geeignete Verbindungen mit den zuvor genannten Resten R^1 sind bekannt. Wenn z. B. R^1 für Phenyl steht, so handelt es sich um Dichlorphenylphosphin.

20

Geeignete Alkohole der Formel IV, worin R^2 die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzt, sind ebenfalls bekannt. Geeignete aromatische Alkohole der Formel HOR^2 sind z. B. 2-tert-Butyl-4-methylphenol, 2-Isopropylphenol, 2-tert-Butylphenol, 4-tert-Butylphenol, 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol, 2,4-Di-tert-butylphenol, 2,6-Dimethylphenol, 2,4-Dimethylphenol, 2,5-Dimethylphenol, 2,6-Dimethylphenol, 3,4-Dimethylphenol, 3,5-Dimethylphenol, 2-Ethylphenol, 3-Ethylphenol, 4-Ethylphenol, 5-Isopropyl-2-methylphenol, m-Kresol, o-Kresol, p-Kresol, 1-Naphthol, 2-Naphthol, Phenol, 1-Brom-2-naphthol, 3-Bromphenol, 5-Chlorchinolin-8-ol, 4-Chlor-3,5-dimethylphenol, 2-Chlor-5-methylphenol, 4-Chlor-3-methylphenol, 2-Chlor-6-nitrophenol, 2-Chlorphenol, 3-Chlorphenol, 4-Chlorphenol, 4-Chlorresorcin, 2,3-Dichlorphenol, 2,4-Dichlorphenol, 2,5-Dichlorphenol, 2,6-Dichlorphenol, 3,4-Dichlorphenol, 2-Fluorphenol, 3-Fluorphenol, 4-Fluorphenol, 3-Methyl-4-nitrophenol, 3-Isopropyl-4-nitrophenol, 3-Isopropyl-4-nitrophenol, 2-Nitroanisol, 4-Nitrobrenzcatechin, 2-Nitrophenol, 3-Nitrophenol, 2-Methoxy-3-methylphenol, 2-Methoxy-4-methylphenol, 2-Methoxyphe- nol, 3-Methoxyphenol, 4-Methoxyphenol. Bevorzugte Alkohole der Formel HOR^1 sind 2-Isopropylphenol, 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol, 2,4-Di-tert-butylphenol, 2,6-Di-tert-butylphenol, Phenol, 2-Fluorphenol, 3-Fluorphenol, 4-Fluorphenol, 4-Nitrobrenzcatechin, 2-Methoxy-4-methylphenol, 2-Trifluormethylphenol, 3,5-Bis(trifluormethyl)phenol, 4-Cyanophenol, etc.

45

Geeignete Alkohole der Formel HO-A-OH, worin A die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzt, sind bekannt. Dazu zählen z. B. Biphenyl-2,2'-Diol und Binaphthyl-2,2'-Diol. Weitere geeignete Diole werden in der US-A-5,312,996, Sp. 19 genannt, auf die hier Bezug 5 genommen wird.

Sowohl die Umsetzung der Verbindung (III) mit (IV) zu (V) als auch die weitere Umsetzung zu den zweizähnigen Phosphonitliganden der allgemeinen Formel (I) verläuft im Allgemeinen bei einer er-10 höhten Temperatur im Bereich von etwa 40 bis etwa 200 °C. Beide Umsetzungen können in Gegenwart einer Base, z. B. einem aliphatischen Amin, wie Diethylamin, Propylamin, Dibutylamin, Trimethylamin, Tripropylamin und vorzugsweise Triethylamin oder Pyridin erfolgen. Bevorzugt erfolgt die Halogenwasserstoffabspaltung im 15 ersten Reaktionsschritt rein thermisch.

Vorteilhafterweise gelingt die Herstellung der erfindungsgemäß eingesetzten Phosphonitliganden der Formel I ohne Verwendung von Magnesium- oder Lithium-organischen Verbindungen. Die einfache 20 Reaktionssequenz erlaubt eine breite Variationsmöglichkeit der Liganden. Die Darstellung gelingt somit effizient und ökonomisch aus leicht zugängigen Edukten.

Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Katalysatoren kann man min-25 destens einen Phosphonitliganden der Formel I mit einem Metall der VIII. Nebengruppe, z. B. Nickel, oder mit einer Verbindung des Metalls in Gegenwart eines Reduktionsmittels oder einem Komplex des Metalls jeweils in einem inerten Lösungsmittel zur Reaktion bringen. Geeignete Nickelverbindungen sind dabei z. B. Ver-30 bindungen, in denen das Übergangsmetall eine Oxidationsstufe höher als 0 einnimmt, und die bei der Umsetzung mit dem Phosphonitliganden der Formel I, gegebenenfalls in Gegenwart eines geeigneten Reduktionsmittels, *in situ* reduziert werden. Dazu zählen z. B. die Halogenide, bevorzugt die Chloride, und die Acetate der 35 zuvor genannten Übergangsmetalle. Dabei wird bevorzugt NiCl₂ eingesetzt. Geeignete Reduktionsmittel sind z. B. Metalle, bevorzugt Alkalimetalle, wie Na und K, Aluminium, Zink sowie Trialkylaluminiumverbindungen.

40 Werden zur Herstellung der Phosphonit-Nickel(0)-Komplexe bereits Komplexverbindungen des Übergangsmetalls eingesetzt, so liegt in diesen das Übergangsmetall vorzugsweise bereits nullwertig vor. Bevorzugt werden zur Herstellung Komplexe mit Liganden eingesetzt, die den zuvor genannten, zusätzlichen Liganden der erfindungsgemäßen Komplexe entsprechen. In diesem Falle erfolgt die 45

15

Herstellung durch teilweisen oder vollständigen Ligandenaustausch mit den zuvor beschriebenen Phosphonitliganden der Formel I.

Bevorzugt ist der Nickelkomplex Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0).

5

Geeignete inerte Lösungsmittel zur Herstellung der Nickel(0)-Komplexe sind beispielsweise Aromaten, wie Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Chlorbenzol, Ether, vorzugsweise Diethylether und Tetrahydrofuran, oder Halogenalkane, beispielsweise Dichlormethan, Chloroform, Dichlorethan und Trichlorethan. Geeignete Lösungsmittel sind auch die flüssigen Edukte und/oder Produkte der katalysierten Reaktion. Die Temperatur liegt dabei in einem Bereich von -70 °C bis 150 °C, vorzugsweise von 0 °C bis 100 °C, besonders bevorzugt etwa bei Raumtemperatur.

15

Wird zur Herstellung der Phosphonit-Nickel(0)-Komplexe elementares Nickel eingesetzt, so liegt dieses vorzugsweise als Pulver vor. Die Umsetzung von Nickel und Phosphonitligand erfolgt vorzugsweise in einem Produkt der katalysierten Reaktion, wie der Hydrocyanierungsreaktion, als Lösungsmittel, z. B. in einem Gemisch monoolefinischer C₅-Mononitrile oder bevorzugt in 3-Penten-nitril oder 2-Methyl-3-butennitril. Gegebenenfalls kann auch der Ligand als Lösungsmittel eingesetzt werden. Die Temperatur liegt in einem Bereich von etwa 0 bis 150 °C, bevorzugt 60 bis 100 °C.

25

Vorzugsweise liegt das Molmengenverhältnis von Metall der VIII. Nebengruppe zu zweizähnigem Phosphonitliganden in einem Bereich von etwa 1:1 bis 1:5, bevorzugt 1:1 bis 1:3.

30

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung von Gemischen monoolefinischer C₅-Mononitrile mit nicht-konjugierter C=C- und C≡N-Bindung durch katalytische Hydrocyanierung von Butadien oder eines 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisches, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Hydrocyanierung in Gegenwart mindestens eines der zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Katalysatoren erfolgt.

Zur Herstellung von Gemischen monoolefinischer C₅-Mononitrile, die z.B. 3-Pentennitril und 2-Methyl-3-butennitril enthalten und die als Zwischenprodukte für die Weiterverarbeitung zu Adipodinitril geeignet sind, kann man reines Butadien oder 1,3-Butadien-haltige Kohlenwasserstoffgemische einsetzen.

16

Wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Kohlenwasserstoffgemisch eingesetzt, so weist dieses einen 1,3-Butadien-Gehalt von mindestens 10 Vol.-%, bevorzugt mindestens 25 Vol.-%, insbesondere mindestens 40 Vol.-%, auf.

5

1,3-Butadien-haltige Kohlenwasserstoffgemische sind in großtechnischem Maßstab erhältlich. So fällt z.B. bei der Aufarbeitung von Erdöl durch Steamcracken von Naphtha ein als C₄-Schnitt bezeichnetes Kohlenwasserstoffgemisch mit einem hohen Gesamtolenfin-10 anteil an, wobei etwa 40 % auf 1,3-Butadien und der Rest auf Monoolefine und mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe sowie Alkane entfällt. Diese Ströme enthalten immer auch geringe Anteile von im Allgemeinen bis zu 5 % an Alkinen, 1,2-Dienen und Vinyl-acetylen.

15

Reines 1,3-Butadien kann z. B. durch extraktive Destillation aus technisch erhältlichen Kohlenwasserstoffgemischen isoliert werden.

20 C₄-Schnitte werden gegebenenfalls vor der Hydrocyanierung von Alkinen, wie z. B. Propin oder Butin, von 1,2-Dienen, wie z. B. Propadien, und von Alkeninen, wie z. B. Vinylacetylen, im Wesentlichen befreit. Ansonsten werden u. U. Produkte erhalten, bei denen eine C=C-Doppelbindung in Konjugation mit der C≡N-Bindung 25 steht. Diese können u. U. als Katalysatorgifte für den ersten Reaktionsschritt der Adipinsäureherstellung, die Monoaddition von Cyanwasserstoff, wirken.

Daher entfernt man gegebenenfalls aus dem Kohlenwasserstoffgemisch solche Komponenten teilweise oder vollständig, die bei katalytischer Hydrocyanierung Katalysatorgifte ergeben können, insbesondere Alkine, 1,2-Diene und Gemische davon. Zur Entfernung dieser Komponenten wird der C₄-Schnitt vor der Addition von Cyanwasserstoff einer katalytischen Teilhydrierung unterzogen. Diese 35 Teilhydrierung erfolgt in Gegenwart eines Hydrierungskatalysators, der befähigt ist, Alkine und 1,2-Diene selektiv neben anderen Dienen und Monoolefinen zu hydrieren.

Geeignete heterogene Katalysatorsysteme für die selektive Hydrierung sind bekannt und umfassen im Allgemeinen eine Übergangsmetallverbindung auf einem inerten Träger. Insbesondere handelt es sich dabei um die in den US-A-4,587,369; US-A-4,704,492 und US-A-4,493,906 beschriebenen, auf die hier in vollem Umfang Bezug genommen wird. Weitere geeignete Katalysatorsysteme auf Cu-Basis 45 werden von der Fa. Dow Chemical als KLP-Katalysator vertrieben.

Die Addition von Cyanwasserstoff an 1,3-Butadien oder ein 1,3-Butadien-haltiges Kohlenwasserstoffgemisch, z. B. einen vorbehandelten, teilhydrierten C₄-Schnitt, kann kontinuierlich, semikontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen.

5

Geeignete Reaktoren für die Umsetzung sind dem Fachmann bekannt und werden z. B. in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 1, 3. Aufl., 1951, S. 743 ff. und S. 769 ff. beschrieben. Vorzugsweise wird für ein kontinuierliches Verfahren eine Rühr-10 kesselkaskade oder ein Rohrreaktor verwendet.

Erfolgt die Addition des Cyanwasserstoffs an 1,3-Butadien oder ein 1,3-Butadien-haltiges Kohlenwasserstoffgemisch semikontinuierlich oder diskontinuierlich, so wird für das erfindungsge-15 mäße Verfahren z. B. ein Autoklav verwendet, der gewünschtenfalls mit einer Rührvorrichtung und einer Innenauskleidung versehen sein kann.

Ein geeignetes semikontinuierliches Verfahren umfasst:

20

a) Befüllen eines Reaktors mit 1,3-Butadien oder dem Kohlenwas-serstoffgemisch, gegebenenfalls einem Teil des Cyanwasser-stoffs und einem gegebenenfalls in situ erzeugten, erfin-dungsgemäßen Hydrocyanierungskatalysator sowie gegebenenfalls 25 einem Lösungsmittel. Geeignete Lösungsmittel sind dabei die zuvor bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Katalysatoren genannten, bevorzugt aromatischen Kohlenwasserstoffe, wie To-luol und Xylol, oder Tetrahydrofuran.

30 b)

Umsetzung des Gemisches bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck. Dabei liegt die Reaktionstemperatur im Allgemeinen in einem Bereich von etwa 0 bis 200°C, bevorzugt etwa 50 bis 150 °C. Der Druck liegt im Allgemeinen in einem Bereich von etwa 1 bis 200 bar, bevorzugt etwa 1 bis 100 bar, insbeson-35 dere 1 bis 50 bar, insbesondere bevorzugt 1 bis 20 bar. Dabei wird während der Reaktion Cyanwasserstoff nach Maßgabe seines Verbrauchs eingespeist.

c)

Gegebenenfalls Vervollständigung des Umsatzes durch Nachrea-40 gieren und anschließende Aufarbeitung. Zur Vervollständigung des Umsatzes kann sich an die Reaktionszeit eine Nachreak-tionszeit von 0 Minuten bis etwa 5 Stunden, bevorzugt etwa 1 Stunde bis 3,5 Stunden anschließen, in der kein Cyanwasser-stoff mehr in den Autoklaven eingespeist wird. Die Temperatur wird in dieser Zeit im Wesentlichen konstant auf der zuvor eingestellten Reaktionstemperatur belassen. Die Aufarbeitung 45 erfolgt nach gängigen Verfahren und umfasst die Abtrennung

des nicht umgesetzten 1,3-Butadiens und des nicht umgesetzten Cyanwasserstoffs, z. B. durch Waschen oder Extrahieren und die destillative Aufarbeitung des übrigen Reaktionsgemisches zur Abtrennung der Wertprodukte und Rückgewinnung des noch aktiven Katalysators.

Gemäß einer weiteren geeigneten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Addition des Cyanwasserstoffs an das 1,3-Butadien-haltige Kohlenwasserstoffgemisch diskontinuierlich. 10 Dabei werden im Wesentlichen die bei dem semikontinuierlichen Verfahren beschriebenen Reaktionsbedingungen eingehalten, wobei in Schritt b) kein zusätzlicher Cyanwasserstoff eingespeist, sondern dieser komplett vorgelegt wird.

15 Bevorzugt erfolgt die Addition des Cyanwasserstoffs an 1,3-Butadien oder ein 1,3-Butadien-haltiges Kohlenwasserstoffgemisch kontinuierlich. Die Reaktionsführung erfolgt dabei im Allgemeinen so, dass im Wesentlichen keine größeren nicht umgesetzten Cyanwasserstoffmengen im Reaktor vorhanden sind. Geeignete Verfahren 20 zur kontinuierlichen Hydrocyanierung sind dem Fachmann bekannt. Dazu zählt z. B. ein Zulaufverfahren, bei dem 1,3-Butadien und Blausäure über getrennte Zuläufe nach Maßgabe ihres Verbrauchs einem Reaktor zugeführt werden. Der Katalysator kann dabei gemeinsam mit einem der Edukte oder über einen separaten Zulauf 25 geführt werden. Geeignete, vorzugsweise gut durchmischbare Reaktoren sind dem Fachmann ebenfalls bekannt. Dazu zählen z. B. Rührkessel, Kesselkaskaden und Rohrreaktoren, die gegebenenfalls mit einer Innenauskleidung versehen sind. Vorzugsweise erfolgt auch die Aufarbeitung der Reaktionsprodukte nach einem üblichen 30 kontinuierlichen Verfahren.

Im Allgemeinen beträgt das bei der Monoaddition von Cyanwasserstoff an 1,3-Butadien oder das 1,3-Butadien-haltige Kohlenwasserstoffgemisch unmittelbar nach Beendigung der Addition (kein nicht umgesetzter Cyanwasserstoff mehr vorhanden) erhaltene Mengenverhältnis von 3-Pentennitril zu 2-Methyl-3-butennitril mindestens 0,4:1. Vorteilhafterweise findet bei höheren Reaktionstemperaturen und/oder bei längeren Reaktionszeiten in Gegenwart der erfundungsgemäßen Katalysatoren zusätzlich eine Isomerisierung statt, 35 wobei das erhaltene Mengenverhältnis von 3-Pentennitril zu 2-Methyl-3-butennitril dann im Allgemeinen etwa 2:1, bevorzugt 5:1, insbesondere 8:1, beträgt.

19

Allgemein lässt sich die Herstellung von Adipinsäuredinitril aus Butadien oder einem Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisch durch Addition von 2 Moläquivalenten Cyanwasserstoff in drei Schritte gliedern:

5

1. Herstellung von C₅-Monoolefingemischen mit Nitrilfunktion.
2. Isomerisierung des in diesen Gemischen enthaltenen 2-Methyl-3-butennitrils zu 3-Pentennitril und Isomerisierung des so gebildeten und des in den Gemischen bereits aus Schritt 1 enthaltenen 3-Pentennitrils zu verschiedenen n-Pentennitriilen. Dabei soll ein möglichst hoher Anteil an 3-Pentennitril bzw. 4-Pentennitril und ein möglichst geringer Anteil an konjugiertem und gegebenenfalls als Katalysatorgift wirksamen 2-Pentennitril und 2-Methyl-2-butennitril gebildet werden.
3. Herstellung von Adipinsäuredinitril durch Addition von Cyanwasserstoff an das in Schritt 2 gebildete 3-Pentennitril welches zuvor "in situ" zu 4-Pentennitril isomerisiert wird.

20

Vorteilhafterweise eignen sich die erfindungsgemäßen Katalysatoren auf Basis von Phosphonitliganden auch für die Stellungs- und Doppelbindungsisomerisierung in Schritt 2 und/oder die Zweitaddition von Cyanwasserstoff in Schritt 3.

25

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur katalytischen Isomerisierung verzweigter aliphatischer Monoalken-nitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung zu linearen Monoalkennitrilen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Isomerisierung in Gegenwart eines erfindungsgemäßen Katalysators erfolgt.

Geeignete verzweigte aliphatische Monoalkennitrile sind vorzugsweise acyclische, aliphatische, nichtkonjugierte 2-Alkyl-3-Mono-alkennitrile und insbesondere 2-Methyl-3-butennitril. Vorzugsweise werden zur Isomerisierung Gemische monoolefinischer C₅-Mononitrile eingesetzt, wie sie durch das zuvor beschriebene Verfahren zur katalytischen Hydrocyanierung von Butadien oder von 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen erhältlich sind.

Vorteilhafterweise zeigen die erfindungsgemäßen Katalysatoren dabei eine gute Aktivität in Bezug auf die Bildung linearer Monoalkennitrile. Die Isomerisierung kann gewünschtenfalls in Gegenwart eines üblichen Promotors, z. B. einer Lewis-Säure, wie AlCl₃ oder ZnCl₂, erfolgen. Vorteilhafterweise ermöglichen die erfindungsgemäßen Katalysatoren im Allgemeinen eine Isomerisierung ohne Promotorzusatz. Dabei ist die Selektivität der erfindungsgemäßen Katalysatoren bei der Isomerisierung ohne Promotorzusatz im Allge-

20

meinen höher als mit Promotorzusatz. Des Weiteren kann auf eine aufwendige Abtrennung des Promotors nach der Isomerisierung verzichtet werden. Somit ist prinzipiell nur ein Katalysatorkreislauf für Hydrocyanierung, Isomerisierung und gegebenenfalls eine 5 Zweitaddition von Cyanwasserstoff erforderlich. Die Einsparung des Promotors und die prinzipiell mögliche Vereinfachung der Prozessführung ermöglichen im Allgemeinen eine Senkung der Kosten gegenüber bekannten Verfahren.

10 Die Temperatur bei der Isomerisierung liegt in einem Bereich von etwa 50 bis 160 °C, bevorzugt 70 bis 130 °C.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung von Adipinsäuredinitril durch katalytische Hydrocyanierung von linearen monoolefinischen C₅-Mononitrilen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Hydrocyanierung in Gegenwart eines erfindungsgemäßen Katalysators erfolgt. Vorteilhafterweise setzt man zur Hydrocyanierung ein Gemisch monoolefinischer C₅-Mononitrile ein, welches nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zur katalytischen Hydrocyanierung von Butadien oder eines 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisches erhältlich ist und welches gegebenenfalls zusätzlich einer Aufarbeitung und/oder einer Isomerisierung nach den zuvor beschrieben erfindungsgemäßen Isomerisierungsverfahren unterzogen wurde. Nach einer geeigneten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Hydrocyanierung der monoolefinischen C₅-Mononitrile in Gegenwart eines Promotors, z. B. einer Lewis-Säure, wie AlCl₃, ZnCl₂, BF₃, B(C₆H₅)₃, SnCl₄, Sn(C₆H₅)₃OSO₂CF₃ etc.

- 30 Nach einer geeigneten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung von Adipinsäuredinitril erfolgt die katalytische Hydrocyanierung von Butadien oder eines 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisches (Schritt 1) und die Isomerisierung (Schritt 2) im Sinne einer Eintopfreaktion ohne Isolierung der Hydrocyanierungsprodukte. Dabei können Hydrocyanierung und Isomerisierung z. B. in einem Reaktor erfolgen, wobei gegebenenfalls nach Beendigung der Cyanwasserstoffzugabe die Reaktions-temperatur erhöht wird. Hydrocyanierung und Isomerisierung können auch in separaten Reaktoren erfolgen, wobei z. B. nach Beendigung 35 der Monoaddition von Cyanwasserstoff in einem ersten Reaktor das katalysatorhaltige Reaktionsgemisch ohne Isolierung und Aufarbei-tung in einen zweiten Reaktor überführt und in diesem isomeri-siert wird.
- 40 45 Nach einer weiteren geeigneten Ausführungsform des erfindungsge-mäßen Verfahrens erfolgen alle drei Schritte der Adipinsäuredini-trilherstellung, d. h. Herstellung monoolefinischer C₅-Mononi-

trile, Isomerisierung und Zweitaddition von Cyanwasserstoff im Sinne einer Eintopfreaktion.

Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur Herstellung
5 von Adipinsäuredinitril, umfassend

- a) Herstellung eines Gemisches monoolefinischer C₅-Mononitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung durch katalytische Hydrocyanierung von Butadien oder eines 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisches,
10
- b) katalytische Isomerisierung des Gemisches aus a),
- c) katalytische Hydrocyanierung des isomerisierten Gemisches aus
15 b),

das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schritte a), b) und c) in Gegenwart wenigstens eines erfindungsgemäßen Katalysators und ohne Isolierung des/der Produkte(s) aus Schritt a) und/oder b)
20 erfolgen.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren lassen sich aus leicht zugänglichen und zum Teil im Handel erhältlichen Vorstufen einfach und somit kostengünstig herstellen. Vorteilhaftweise zeigen sie
25 eine hohe Aktivität und eine gute Selektivität im Bezug auf die bei der Hydrocyanierung von 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen erhaltenen Monoadditionsprodukte bzw. Isomerisierungsprodukte. Im Allgemeinen weisen sie eine höhere Stabilität gegenüber Cyanwasserstoff als übliche Hydrocyanierungskatalysatoren auf und können bei der Hydrocyanierung auch mit einem Überschuss an Cyanwasserstoff versetzt werden, ohne dass es zu einer merklichen Abscheidung von inaktiven Nickel(II)-Verbindungen, wie z. B. Nickel(II)-Cyanid, kommt. Im Gegensatz zu bekannten Hydrocyanierungskatalysatoren auf Basis nicht-komplexer Phosphin- und
30 Phosphitliganden eignen sich die erfindungsgemäßen Katalysatoren somit nicht nur für kontinuierliche Hydrocyanierungsverfahren, bei denen ein Cyanwasserstoffüberschuss im Reaktionsgemisch im Allgemeinen wirkungsvoll vermieden werden kann, sondern auch für semikontinuierliche Verfahren und Batch-Verfahren, bei denen im
35 Allgemeinen ein starker Cyanwasserstoffüberschuss vorliegt. Somit weisen die erfindungsgemäß eingesetzten Katalysatoren und die auf ihnen basierenden Verfahren zur Hydrocyanierung im Allgemeinen höhere Katalysatorrückführungsrationen und längere Katalysatorstandzeiten auf als bekannte Verfahren. Dies ist neben einer besseren
40 Wirtschaftlichkeit auch unter ökologischen Aspekten vorteilhaft, da das aus dem aktiven Katalysator mit Cyanwasserstoff gebildete Nickelcyanid stark giftig ist und unter hohen Kosten aufgearbei-

22

tet oder entsorgt werden muss. Zudem ist bei der Herstellung der erfindungsgemäßen Katalysatoren im Allgemeinen kein oder ein geringerer Überschuss von Ligand gegenüber Metall der VIII. Nebengruppe erforderlich als bei herkömmlichen Katalysatoren.

5

Neben der Hydrocyanierung von 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemischen eignen sich die Katalysatoren der Formel I im Allgemeinen für alle gängigen Hydrocyanierungsverfahren. Dabei sei insbesondere die Hydrocyanierung von nichtaktivierten Olefinen, z. B. von Styrol und 3-Pentennitril, genannt.

10

Die zuvor beschriebenen Katalysatoren, die chirale Phosphonitliganden der Formel I umfassen, eignen sich zur enantioselektiven Hydrocyanierung.

15

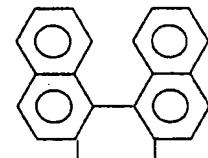
Die Erfindung wird anhand der folgenden, nicht einschränkenden Beispiele näher erläutert.

Beispiele

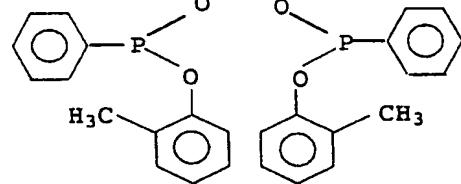
20

In den Beispielen 1 und 3 wurde der folgende Ligand I, in den Beispielen 2 und 4 der Ligand II eingesetzt:

25

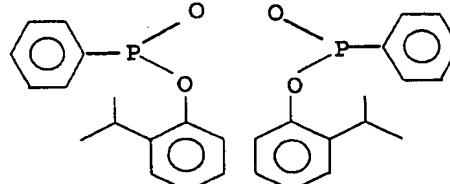
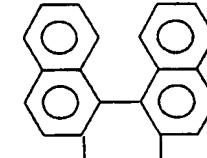


30



35

(Ligand I)



(Ligand II)

Beispiel 1 (erfindungsgemäß):

Semikontinuierliche Hydrocyanierung von 1,3-Butadien

40

In einem Glasautoklaven werden unter Argon bei Raumtemperatur 0,41 g (1,5 mmol) Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0), 2,14 g Ligand I und 10 ml Toluol vorgelegt und 10 Minuten gerührt, wobei sich der Reaktionsansatz rot-braun färbt. Danach wird eine Mischung aus 7,9 g (146 mmol) 1,3-Butadien und 40 g Toluol zugeben. Der Glasautoklav wird fest verschlossen und die Reaktionsmischung auf 70 °C erhitzt, wobei sich ein Anfangsdruck von 1,2 bar

23

einstellt. Über einen Zeitraum von 90 Minuten wird eine Mischung aus 3,2 g (118 mmol) frisch destillierter Blausäure in 40 g Toluol kontinuierlich zudosiert. Danach ist der Druck auf 0,5 bar gefallen. Anschließend lässt man zum Vervollständigen der Reaktion noch 120 Minuten bei etwa 70 °C nachreagieren. Zum Nachspülen des Reaktionsaustrages wird Toluol verwendet. Der Verlauf der Reaktion wird über Druck- und Temperaturmessung verfolgt.

Bei einer anschließenden Cyanid-Bestimmung nach Volhard wird ein Cyanwasserstoffumsatz von mehr als 99 % ermittelt.

GC-Analytik (Säule: 30 m Stabil-Wachs, Temperaturprogramm: 5 Minuten isotherm bei 50 °C, danach Aufheizen mit einer Geschwindigkeit von 5 °C/min auf 240 °C, Gaschromatograph: Hewlett Packard HP 5890) mit internem Standard (Benzonitril): 99,4 % 3-Pentennitril, 4-Pentennitril und 2-Methyl-3-butennitril, bezogen auf eingesetzten Cyanwasserstoff.

Verhältnis 3-Pentennitril : 2-Methyl-3-butennitril = 0,41:1

Wie das folgende Beispiel 2 belegt, wird das Verhältnis von 3-Pentennitril zu 2-Methyl-3-butennitril durch eine Verlängerung der Reaktionszeit über das Ende der Cyanwasserstoffzugabe hinaus zugunsten von 3-Pentennitril verschoben. Der Zusatz eines Promotors ist nicht erforderlich.

Beispiel 2 (erfindungsgemäß):

Semikontinuierliche Hydrocyanierung von 1,3-Butadien mit Isomerisierung

In einem Glasautoklaven werden unter Argonatmosphäre bei Raumtemperatur 0,41 g (1,5 mmol) Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0), 2,9 g Ligand II und 10 g Toluol vorgelegt und 10 Minuten gerührt, wobei sich der Reaktionsansatz rot-braun färbt. Danach wird eine Mischung aus 8,1 g (150 mmol) 1,3-Butadien und 40 g Toluol zugegeben. Der Glasautoklav wird fest verschlossen und die Reaktionsmischung auf 90 °C temperiert. Über einen Zeitraum von 90 Minuten wird eine Mischung aus 4,0 g frisch destillierter Blausäure in 40 g Toluol kontinuierlich zudosiert. Nach Zulaufende wird die Temperatur auf 110 °C erhöht. Der Verlauf der Isomerisierung (Verhältnis von 3-Pentennitril zu 2-Methyl-3-butennitril) wird in regelmäßigen Abständen (0, 3, 6, 22 h) mittels GC-Analytik, wie in Beispiel 1 beschrieben, untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1:

Zeit nach Zulaufende [h]	Verhältnis 3-Pentennitril : 2-Methyl-3-butennitril
	5
0	0,27:1
3	1,94:1
6	4,75:1
22	8,25:1

10 Da aufgrund der Entnahme der Proben für die Gaschromatographie eine exakte Ausbeutebestimmung nicht möglich war, wurde der gleiche Ansatz ohne Probenentnahme erneut durchgeführt. Eine Nachreaktionszeit erfolgte nicht.

15 Ausbeute: 99,6 %
 Verhältnis 3-Pentennitril : 2-Methyl-3-butennitril = 0,22:1
 (Ausbeutebestimmung: siehe Beispiel 1)

Beispiel 3 (erfindungsgemäß):

20 Isomerisierung von 2-Methyl-3-butennitril zu 3-Pentennitril

Unter Argonatmosphäre werden 0,72 g Ligand I, 15 ml Toluol und 0,14 g (0,5 mmol) Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0) vorgelegt und bei Raumtemperatur 45 Minuten gerührt. Dabei fällt aus der zu 25 nächst homogenen Lösung der sich bildende Katalysatorkomplex aus. Die flüchtigen Bestandteile werden im Hochvakuum entfernt. Der verbleibende Feststoff wird mit 40,5 g (500 mmol) 2-Methyl-3-butennitril versetzt. Die Lösung wird auf 110 °C erwärmt. Der Reaktionsverlauf wird in regelmäßigen Abständen mittels eines Gaschromatographen untersucht. Das Produktverhältnis nach 300 Minuten Reaktionszeit ist in Tabelle 2 angegeben. Alle dort verzeichneten Produkte und Nebenprodukte wurden zuvor mittels Gaschromatographie, GC-MS, GC-MS-IR sowie mittels NMR zugeordnet. Alle 30 Werte sind in GC-Flächenprozent angegeben.

35

Einwaage Probe: 1,0160 g
 Einwaage Standard: 1,4416 g

Tabelle 2: Produktverhältnis nach 300 Minuten Reaktionsdauer

	Verbindung	Anteil [GC-Flächen-%]
5	trans-2-Methyl-2-butennitril	0,98
	2-Methyl-3-butennitril	7,41
	trans-2-Pentennitril	0
	cis-2-Methyl-2-butennitril	0,21
	4-Pentennitril	0,33
10	trans-3-Pentennitril	43,10
	cis-3-Pentennitril	1,32
	Methylglutarnitril	0,14
	Benzonitril (Standard)	45,55

Umsatz: 71,65 %

15 Selektivität: > 99 % (Anmerkung: Bereits das Einsatzmaterial enthält ca. 1 % cis- und trans-2-Methyl-2-butennitril)

Wie Beispiel 3 belegt, ist mit den erfundungsgemäßen Katalysatoren eine Isomerisierung auch ohne Promotorzusatz möglich.

20 Beispiel 4 (erfundungsgemäß):
Isomerisierung von 2-Methyl-3-butennitril zu 3-Pentennitril

Unter Argonatmosphäre werden 0,39 g Ligand II, 8 ml Toluol und
25 0,07 g (0,25 mmol) Bis(1,5-cyclooctadien)nickel(0) vorgelegt und bei Raumtemperatur 30 Minuten gerührt. Dabei fällt aus der zunächst roten homogenen Lösung ein Teil des sich bildenden Katalysatorkomplexes aus. Die flüchtigen Bestandteile werden im Hochvakuum entfernt. Der verbleibende Feststoff wird mit 20,2 g
30 (250 mmol) 2-Methyl-3-butennitril versetzt. Die Lösung wird auf 125 °C erwärmt. Der Reaktionsverlauf wird in regelmäßigen Abständen mittels eines Gaschromatographen untersucht. Das Produktverhältnis nach 300 Minuten Reaktionszeit ist in Tabelle 3 angegeben. Alle dort verzeichneten Produkte und Nebenprodukte wurden
35 zuvor mittels Gaschromatographie, GC-MS, GC-MS-IR sowie mittels NMR zugeordnet. Alle Werte sind in GC-Flächenprozent angegeben.

Einwaage Probe: 1,2109 g

Einwaage Standard: 1,00262 g

26

Tabelle 3: Produktverhältnis nach 300 Minuten Reaktionsdauer

	Verbindung	Anteil [GC-Flächen-%]
5	trans-2-Methyl-2-butennitril	3,87
	2-Methyl-3-butennitril	2,16
	trans-2-Pentennitril	0,36
	cis-2-Methyl-2-butennitril	1,43
	4-Pentennitril	1,31
	trans-3-Pentennitril	38,20
	cis-3-Pentennitril	3,60
10	Methylglutarnitril	0
	Benzonitril (Standard)	47,95

Umsatz 95,74 %

15

20

25

30

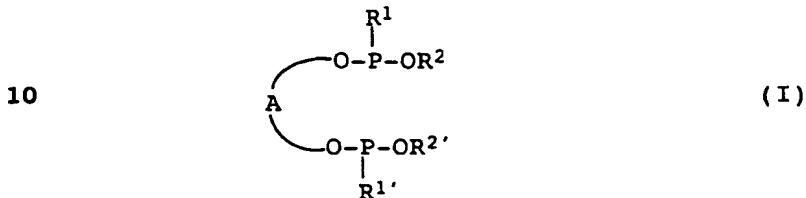
35

40

45

Patentansprüche

1. Katalysator, umfassend einen Komplex eines Metalls der VIII.
 5 Nebengruppe, mit einem zweizähnigen Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I



15
worin

A für eine C₂- bis C₇-Alkylenbrücke steht, die eine, zwei oder drei Doppelbindungen und/oder einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl und Aryl, aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent zusätzlich einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano, tragen kann, und/ oder die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke durch ein, zwei oder drei nicht benachbarte, gegebenenfalls substituierte Heteroatome unterbrochen sein kann, und/oder die C₂- bis C₇-Alkylenbrücke ein-, zwei- oder dreifach mit Aryl und/ oder Hetaryl anelliert sein kann, wobei die anellierten Aryl- und Hetarylgruppen je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carboxyl, Alkoxycarbonyl oder NE¹E², tragen können, wobei E¹ und E² gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen,

40 R¹ und R^{1'} unabhängig voneinander für Alkyl, Cycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, welche je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl und Aryl, tragen können,

45 R² und R^{2'} unabhängig voneinander für Alkyl, Cycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, wobei die Aryl- und Hetarylgruppen je einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano,

28

Carboxyl, Alkoxycarbonyl oder NE^1E^2 , tragen können, wobei E^1 und E^2 die zuvor angegebenen Bedeutungen besitzen können,

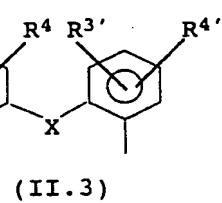
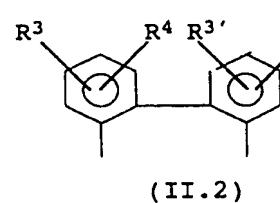
5 oder Salze und Mischungen davon.

2. Katalysator nach Anspruch 1, wobei A für einen Rest der Formeln II.1 bis II.5

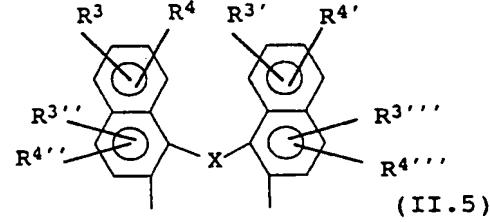
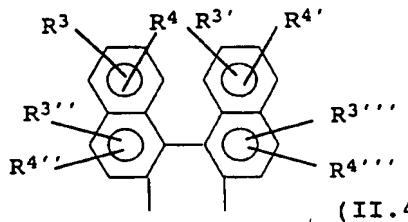
10



15



20



25

steht, worin

X für O, S, NR^5 steht, wobei

R^5 für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl steht,

30

oder X für eine C_1 - bis C_3 -Alkylenbrücke steht, die eine Doppelbindung und/oder einen Alkyl-, Cycloalkyl- oder Arylsubstituenten aufweisen kann, wobei der Arylsubstituent einen, zwei oder drei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano, tragen kann,

35

oder X für eine C_2 - bis C_3 -Alkylenbrücke steht, die durch O, S oder NR^5 unterbrochen ist,

40

R^3 , $\text{R}^{3'}$, $\text{R}^{3''}$, $\text{R}^{3'''}$, R^4 , $\text{R}^{4'}$, $\text{R}^{4''}$ und $\text{R}^{4'''}$ unabhängig voneinander für Wasserstoff, Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Alkoxycarbonyl oder Cyano stehen.

45

29

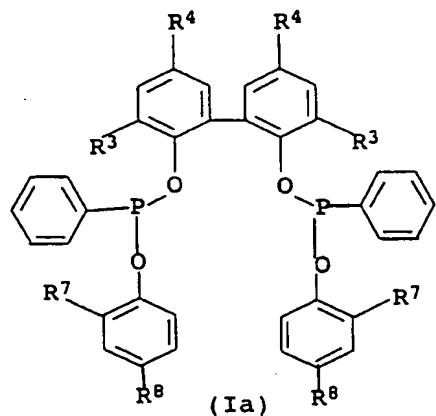
3. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei R¹ und R^{1'} unabhängig voneinander für Alkyl oder Aryl, bevorzugt Phenyl, 1-Naphthyl oder 2-Naphthyl, stehen.

5 4. Katalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei R² und R^{2'} unabhängig voneinander für Phenylsubstituenten stehen, die gegebenenfalls einen oder zwei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Alkoxy, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Alkoxycarbonyl oder Carboxyl, tragen können.

10

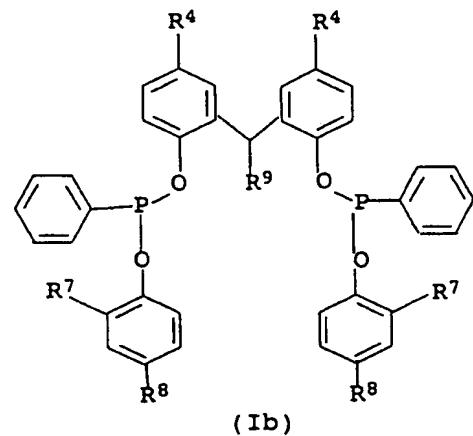
5. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Phosphonitligand der Formel I ausgewählt ist unter Liganden der Formeln Ia bis Ic

15



20

25



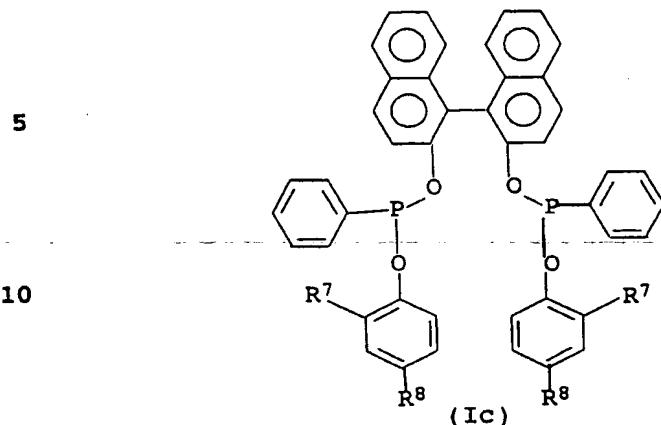
30

35

40

45

30



15 wobei in der Formel Ia die Substituenten R³, R⁴, R⁷ und R⁸ die folgenden Bedeutungen besitzen:

	R ³	R ⁴	R ⁷	R ⁸
20	H	H	H	H
	tert.-Butyl	Methyl	H	H
	tert.-Butyl	Methoxy	H	H
	H	H	Methyl	H
	H	H	Ethyl	H
25	H	H	Isopropyl	H
	H	H	tert.-Butyl	H
	H	Cl	H	H
	H	CF ₃	H	H
30	H	H	Methyl	Methoxy

in der Formel Ib die Substituenten R⁴, R⁷, R⁸ und R⁹ die folgenden Bedeutungen besitzen:

	R ⁴	R ⁷	R ⁸	R ⁹
35	H	H	H	H
	Cl	H	H	H
	Methoxy	H	H	H
40	H	H	H	Phenyl
	H	Methyl	H	H
	H	Methyl	Methoxy	H
	H	Methyl	Methoxy	Phenyl

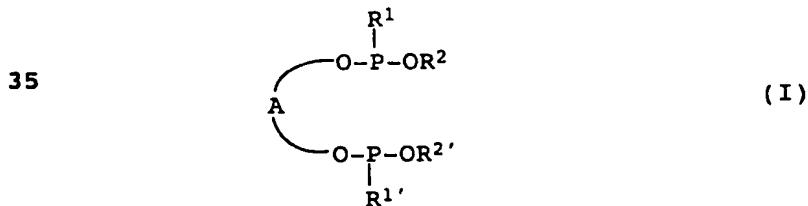
45

31

in der Formel Ic die Substituenten R⁷ und R⁸ die folgenden Bedeutungen besitzen:

	R ⁷	R ⁸
5	H	H
	Methyl	H
	Ethyl	H
	Isopropyl	H
10	tert.-Butyl	H
	Methyl	Methoxy
	i-Propyl	H
	i-Propyl	Methoxy
15	H	Cl
	H	CF ₃

6. Katalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der zusätzlich wenigstens einen weiteren Liganden, ausgewählt unter Cyanid, Halogeniden, Aminen, Carboxylaten, Acetylacetone,
 20 Aryl- oder Alkylsulfonaten, Hydrid, CO, Olefinen, Dienen, Cycloolefinen, Nitrilen, N-haltigen Heterocyclen, Aromaten und Heteroaromaten, Ethern, PF₃ sowie ein-, zwei- und mehrzähnigen Phosphin-, Phosphinit- und Phosphitliganden aufweist.
- 25 7. Katalysator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es sich bei dem Metall der VIII. Nebengruppe um Kobalt, Rhodium, Ruthenium, Palladium oder Nickel handelt.
- 30 8. Phosphonitliganden der allgemeinen Formel I



- 40 wie in einem der Ansprüche 1 bis 5 definiert, worin R² und R^{2'} unabhängig voneinander für Alkyl, Cycloalkyl, Aryl oder Hetaryl stehen, wobei die Aryl- und Hetarylgruppen je einen oder zwei Substituenten, die ausgewählt sind unter Alkyl, Cycloalkyl, Aryl, Alkoxy, Cycloalkoxy, Aryloxy, Acyl, Halogen, Trifluormethyl, Nitro, Cyano, Carbo-
- 45

32

xyl, Alkoxycarbonyl oder NE¹E², tragen können, wobei E¹ und E² gleich oder verschieden sein können und für Alkyl, Cycloalkyl oder Aryl stehen.

- 5 9. Verfahren zur Herstellung von Gemischen monoolefinischer C₅-Mononitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung durch katalytische Hydrocyanierung von Butadien oder eines 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisches, dadurch gekennzeichnet, dass die Hydrocyanierung in Gegenwart eines Katalysators nach einem der Ansprüche 1 bis 7 erfolgt.
- 10 10. Verfahren zur katalytischen Isomerisierung verzweigter aliphatischer Monoalkennitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung zu linearen Monoalkennitrilen, dadurch gekennzeichnet, dass die Isomerisierung in Gegenwart eines Katalysators nach einem der Ansprüche 1 bis 7 erfolgt.
- 15 11. Verfahren zur Herstellung von Adipinsäuredinitril durch katalytische Hydrocyanierung von linearen monoolefinischen C₅-Mononitrilen, dadurch gekennzeichnet, dass die Hydrocyanierung in Gegenwart eines Katalysators nach einem der Ansprüche 1 bis 7 erfolgt.
- 20 12. Verfahren zur Herstellung von Adipinsäuredinitril, umfassend
25 a) Herstellung eines Gemisches monoolefinischer C₅-Mononitrile mit nichtkonjugierter C=C- und C≡N-Bindung durch katalytische Hydrocyanierung von Butadien oder eines 1,3-Butadien-haltigen Kohlenwasserstoffgemisches,
- 30 b) katalytische Isomerisierung des Gemisches aus a),
c) katalytische Hydrocyanierung des isomerisierten Gemisches aus b),
35 dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte a), b) und c) in Gegenwart wenigstens eines Katalysators nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und ohne Isolierung des/der Produkte(s) aus Schritt a) und/oder b) erfolgen.
- 40 13. Verwendung von Katalysatoren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Hydrocyanierung und/oder Stellungs- und Doppelbindungs-isomerisierung von Olefinen.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/03888

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 6 B01J31/18 C07C253/10 C07F9/48

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 B01J C07C C07F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	WO 98 43935 A (URATA HISAO ;WADA YASUHIRO (JP); MITSUBISHI CHEM CORP (JP)) 8 October 1998 (1998-10-08) page 33 -page 43 abstract ---	1-5, 8
P, X	DE 197 40 180 A (BASF AG) 18 March 1999 (1999-03-18) claims 1,6 ---	1-9, 13
Y	---	10-12
A	DE 195 23 335 A (MITSUBISHI CHEM CORP) 4 January 1996 (1996-01-04) claims 1,6 page 16, line 1 -page 18, line 45 ---	-/-

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

20 September 1999

29/09/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Thion, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/03888

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 96 33969 A (RHONE POULENC CHIMIE) 31 October 1996 (1996-10-31) claims 1,4,15 ---	11,12
Y	WO 97 36856 A (DU PONT ;HERRON NORMAN (US); DRULINER JOE DOUGLAS (US)) 9 October 1997 (1997-10-09) claim 1 ----	10
A	WO 96 22968 A (DU PONT) 1 August 1996 (1996-08-01) claims 1,2 ----	
A	EP 0 312 659 A (SUN REFINING & MARKETING) 26 April 1989 (1989-04-26) ----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/03888

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 9843935	A	08-10-1998	AU	6518398 A	22-10-1998
DE 19740180	A	18-03-1999	AU	9538598 A	05-04-1999
			WO	9913983 A	25-03-1999
DE 19523335	A	04-01-1996	JP	8073389 A	19-03-1996
			SG	32381 A	13-08-1996
			US	5600032 A	04-02-1997
			US	5712403 A	27-01-1998
WO 9633969	A	31-10-1996	BR	9508117 A	12-08-1997
WO 9736856	A	09-10-1997	EP	0891324 A	20-01-1999
WO 9622968	A	01-08-1996	US	5821378 A	13-10-1998
			BR	9606718 A	13-01-1998
			CA	2208040 A	01-08-1996
			CN	1169143 A	31-12-1997
			EP	0804412 A	05-11-1997
			EP	0911339 A	28-04-1999
			JP	10512879 T	08-12-1998
			US	5696280 A	09-12-1997
EP 0312659	A	26-04-1989	JP	1102039 A	19-04-1989

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/03888

A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 B01J31/18 C07C253/10 C07F9/48

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprästoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 B01J C07C C07F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprästoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P, X	WO 98 43935 A (URATA HISAO ; WADA YASUHIRO (JP); MITSUBISHI CHEM CORP (JP)) 8. Oktober 1998 (1998-10-08) Seite 33 -Seite 43 Zusammenfassung ---	1-5, 8
P, X	DE 197 40 180 A (BASF AG) 18. März 1999 (1999-03-18) Ansprüche 1,6 ---	1-9, 13
Y		10-12
A	DE 195 23 335 A (MITSUBISHI CHEM CORP) 4. Januar 1996 (1996-01-04) Ansprüche 1,6 Seite 16, Zeile 1 -Seite 18, Zeile 45 ---	
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besondere bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Rechercheberichts

20. September 1999

29/09/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Thion, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/03888

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 96 33969 A (RHONE POULENC CHIMIE) 31. Oktober 1996 (1996-10-31) Ansprüche 1,4,15 ---	11,12
Y	WO 97 36856 A (DU PONT ; HERRON NORMAN (US); DRULINER JOE DOUGLAS (US)) 9. Oktober 1997 (1997-10-09) Anspruch 1 ---	10
A	WO 96 22968 A (DU PONT) 1. August 1996 (1996-08-01) Ansprüche 1,2 ---	
A	EP 0 312 659 A (SUN REFINING & MARKETING) 26. April 1989 (1989-04-26) -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/03888

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9843935	A	08-10-1998	AU	6518398 A		22-10-1998
DE 19740180	A	18-03-1999	AU	9538598 A		05-04-1999
			WO	9913983 A		25-03-1999
DE 19523335	A	04-01-1996	JP	8073389 A		19-03-1996
			SG	32381 A		13-08-1996
			US	5600032 A		04-02-1997
			US	5712403 A		27-01-1998
WO 9633969	A	31-10-1996	BR	9508117 A		12-08-1997
WO 9736856	A	09-10-1997	EP	0891324 A		20-01-1999
WO 9622968	A	01-08-1996	US	5821378 A		13-10-1998
			BR	9606718 A		13-01-1998
			CA	2208040 A		01-08-1996
			CN	1169143 A		31-12-1997
			EP	0804412 A		05-11-1997
			EP	0911339 A		28-04-1999
			JP	10512879 T		08-12-1998
			US	5696280 A		09-12-1997
EP 0312659	A	26-04-1989	JP	1102039 A		19-04-1989